

Полученные результаты показывают, что дополнительное охлаждение в условиях Уренгоя не требуется, и РИТЭГ может быть использован в метеостанциях и других потребителях энергии.

#### Список использованных источников

1. Шумков Д. Е., Климова В. А., Ташлыков О. Л., Селезнев Е. Н. Повышение надежности охлаждения облученных топливных сборок ИЯР ИВВ-2М в шахте-хранилище // Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2017 (15–19 мая 2017 г.) : Тезисы докладов IV Международной молодежной научной конференции (Секции 3, 4, 5) [Электронный ресурс]. Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 122–123.
2. Ташлыков О. Л., Климова В. А., Абрамов С. О. Возможности гидродинамического моделирования в решении проблемы эрозионно-коррозионного износа систем АЭС / Энергия и человек: сборник трудов Международной молодежной научной школы, Томск, 28-29 октября 2011 г.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. С. 3–6.
3. Российский федеральный ядерный центр. Всероссийский НИИ экспериментальной физики [Электронный ресурс]. URL: <http://vniief.ru/> (дата обращения 01.11.2017).
4. База знаний для проектировщиков ВК [Электронный ресурс]. URL: <http://vik.by> (дата обращения 01.11.2017).

УДК 620.9+621.31

## **АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО ВОЗДУХА**

### **LIQUID AIR ENERGY STORAGE**

Кубатуллин С. Б., Радченко Р. В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
[kubatullinsergey@mail.ru](mailto:kubatullinsergey@mail.ru)

Kubatullin S. B., Radchenko R. V.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В работе рассмотрены системы аккумулирования электроэнергии, в частности на основе жидкого воздуха. Обозначены принципы, лежащие в основе метода, основные части системы, её достоинства.

**Abstract:** The article mentions energy storage systems, liquid air energy systems in particular. The article singles out the principles of the method, main stages of its work and advantages.

**Ключевые слова:** *аккумулирование энергии; жидкий воздух; азот.*

**Key words:** *energy storage; liquid air; nitrogen.*

Особый характер электроэнергетики определяется неравномерностью нагрузки сети в течение суточного периода. С ростом доли возобновляемой энергетики появляется еще одна проблема – нестабильность вырабатываемых мощностей, а так же разница между пиками потребления и выработки. Поэтому возникает вопрос о модернизации энергосистемы и реализации эффективного аккумулирования энергии в частности. Большой интерес представляют собой вопросы о роли и месте систем накопления электроэнергии в интеллектуальной электроэнергетической системе с активно-адаптивной сетью Smart Grid.

Согласно концепции Smart Grid, электрическая сеть из пассивного устройства транспорта и распределения электроэнергии превращается в активный элемент, параметры которого изменяются в реальном времени в зависимости от режима работы энергосистемы. Энергетическая система, построенная по принципу Smart Grid, должна упростить взаимодействие объектов традиционной и распределённой генерации с ВИЭ и накопителями электроэнергии. В такой системе применение накопителей целесообразно как в качестве сетевых накопителей энергии (СНЭ), которые работают одновременно с сетью, добавляя или забирая часть нагрузки, так и в качестве традиционных источников бесперебойного питания (ИБП), которые работают только тогда, когда по каким-то причинам отключилось внешнее электропитание.

Включение в электроэнергетическую систему мощных, имеющих хорошие технические и экономические показатели СНЭ является важной комплексной задачей, направленной на повышение энергоэффективности процессов производства, передачи и распределения электрической энергии.

Под аккумулярованием энергии понимается использование устройства – аккумулятора энергии путём введения в него энергии для того, чтобы получить обратно в удобное для потребления время. На сегодняшний день единственным методом аккумулярования энергии, который широко распространён, является использование ГАЭС (более 96 % всей мировой емкости хранения электроэнергии – 184 ГВт установленной мощности [1]). Такой метод имеет ряд характерных недостатков (географические, экономические особенности и др.)

Новые перспективы в области аккумулярования в основном связаны с технологиями хранения энергии с использованием компримированного воздуха (CAES – Compressed Air Energy Storage) и криогенного воздуха (LAES – Liquid Air Energy Storage). В первом случае используется сжатие атмосферного воздуха с последующим его хранением, как правило, в подземных областях под давлением 40-80 бар. В период увеличения спроса на электроэнергию сжатый воздух подается в турбины. В LAES-системах используется сжатие атмосферного воздуха с последующим хранением его в резервуарах. Жидкий воздух можно получить его охлаждением до 77 К. При реализации обратного процесса с подводом теплоты из 1 м<sup>3</sup> жидкого воздуха образуется 694 м<sup>3</sup> газообразного воздуха [2]. В 2011–2014 гг. протестирована система компании Highview Power (Великобритания). Система работала совместно с ТЭЦ компании SSE, использующей в качестве топлива биомассу. Благодаря использованию сбросного тепла ТЭЦ эффективность аккумулярования достигла 70 % [3, 4].

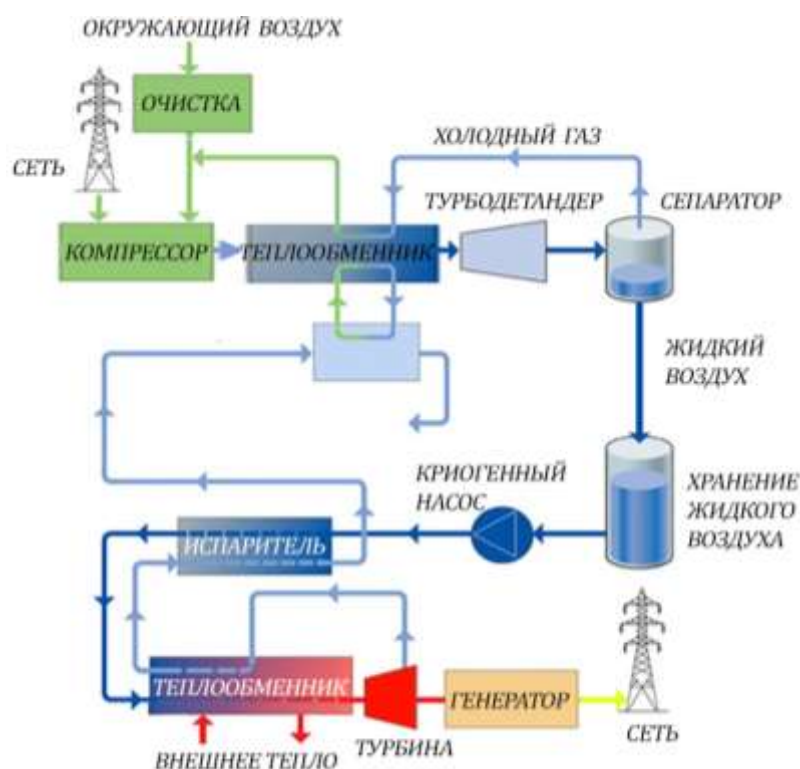
Кратко рассмотрим основные этапы, реализуемые в LAES-системе. На рисунке изображения принципиальная схема работы LAES-системы.

1. «Заряд». Используется система ожижения, которая включается при наличии в системе избытка электроэнергии. Воздух очищается,

сжимается, охлаждается за счет использования детандирования и дросселирования, разделяется на фазы в сепараторе. Жидкий воздух отводится в резервуары хранения, пары возвращаются в цикл.

2. Хранение жидкого воздуха в изолированных резервуарах.

3. Извлечение жидкого воздуха из хранилищ. При наличии повышенного спроса на электроэнергию жидкий воздух извлекается из хранилищ, газифицируется, устремляется в турбину для выработки электроэнергии.



Принципиальная схема LAES

Для повышения эффективности работы LAES-системы можно использовать следующие методы:

1. Холод расширения жидкого воздуха, получаемый на третьем этапе, отводится и используется для охлаждения воздуха на первом этапе;
2. Наоборот, использование тепла, получаемого на стадии сжатия воздуха, применяется для подогрева воздуха перед энергетическими турбинами;
3. Использование сбросного тепла.

Технология хранения энергии LAES обладает рядом плюсов:

1. Используется доступное рабочее тело – атмосферный воздух;
2. Не требует горных рельефов или больших подземных геологических формаций, как в случае с использованием компримированного воздуха;
3. Применяемые материалы, аппараты и оборудование не требуют специальных разработок;
4. Жидкий воздух занимает минимальный объем при хранении;
5. Отсутствие выбросов в атмосферу вредных веществ;
6. Возможность совместной работы с установками нетрадиционной возобновляемой энергетики и интеграции в систему Smart Grid.

#### Список использованных источников

1. Глобальная информационная база хранения энергии DOE [Электронный ресурс]. URL: [www.energystorageexchange.org.](http://www.energystorageexchange.org/) / (дата обращения 20.11.2017).
2. Жидкий азот. Передовые технологии производства газов Ндва [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ndva.ru/gazi/zhidkiy\\_azot.html](http://www.ndva.ru/gazi/zhidkiy_azot.html) (дата обращения 20.11.2017).
3. Санников В. Криоэнергетика: криогенная электростанция // Популярная механика. 2012. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/12689-prodavtsy-vozdukha-krioenergetika/> (дата обращения 20.11.2017).
4. Highview Power Storage [Электронный ресурс]. URL: <http://www.highview-power.com> (дата обращения 20.11.2017).

УДК 621.316

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА**

## **COMPARATIVE ASSESMENT OF METHODS FOR HYDROGEN PRODUCTION**

Кузнецов О. А., Балугев А. С., Вальцева А. И.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
[s8a7s9h7a@yandex.ru](mailto:s8a7s9h7a@yandex.ru)